

**EL DOBLE ACRISTALAMIENTO COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA PARA  
EL MEJORAMIENTO EN EL CONFORT TÉRMICO DE LA VIVIENDA DE LA  
SABANA DE BOGOTÁ.**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR PARA EL TÍTULO DE ARQUITECTO

AUTOR

ANDRÉS FELIPE MAZUTIS FORERO

1210506

UNIVERSIDAD PILOTO COLOMBIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y ARTES

PROGRAMA DE ARQUITECTURA

BOGOTÁ D.C

2017

**EL DOBLE ACRISTALAMIENTO COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA PARA  
EL MEJORAMIENTO EN EL CONFORT TÉRMICO DE LA VIVIENDA DE LA  
SABANA DE BOGOTÁ.**

AUTOR

ANDRÉS FELIPE MAZUTIS FORERO

1210506

Director Diseño: Arq. MANUEL RUBIANO

Codirector de Diseño: Arq. SERGIO PEREA

ASESORES

Urbanismo: Arq. CAMILO POVEDA

Tecnología: Arq. JULIAN GONZALEZ

Seminarista: Arq. RODRIGO CARRASCAL

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y ARTES  
PROGRAMA DE ARQUITECTURA  
BOGOTA D.C.

2017

## Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN .....	9
Problemática .....	9
Hipótesis .....	9
Justificación.....	9
Objetivos .....	9
General .....	9
Específicos.....	10
1. Marco Teórico.....	10
1.1. Conceptos .....	10
1.1.1. Confort Térmico .....	10
1.1.2. Confort Adaptativo .....	10
1.1.3. Sistemas de HVAC .....	10
1.1.4. Eficiencia Energética .....	10
1.1.5. Habitabilidad .....	10
1.1.6. Coeficiente de Conductividad Térmica .....	11
1.1.7. Atmósfera .....	11
2. Metodología .....	11
2.1. Operación de Software para el Análisis Bioclimático .....	11
2.1.1. Oasys Thermal tool.....	11
2.1.2. CBE Thermal Comfort Tool .....	12
2.1.3. Revit e Insignth .....	12
2.2. Clima y Localización.....	13
2.2.1. Localización Y Temperatura Externa De La Sabana De Bogotá .....	13
2.2.2. Estaciones Climáticas De La Sabana De Bogotá .....	14
2.2.3. Definición del confort adaptativo.....	14
2.2.4. Estrategias diagrama Givoni para la sabana de Bogotá .....	15
2.2.5. Carta Solar Urbana.....	15
2.3. Tecnología de Doble Acristalamiento.....	16
2.3.1. Ventana Tradicional.....	16
2.3.2. Que es el Doble Acristalamiento.....	17

2.3.3.	Tecnologías Foráneas de Doble Acristalamiento y Costos .....	17
2.3.4.	Adaptación Nativa De Doble Acristalamiento .....	18
2.3.5.	Mejoramiento técnico en la adaptación nativa .....	18
2.3.6.	Instalación del sistema .....	19
3.	ANÁLISIS DEL CASO DE ESTUDIO.....	20
3.1.	Proyecto Urbano de Vivienda Seleccionado Y Revisión Espacial de las Diferentes Tipologías en el Urbanismos del Proyecto.....	20
3.2.	Análisis Solar De La Vivienda Seleccionada.....	21
3.3.	Materiales De Construcción De La Vivienda .....	21
3.4.	Definición de atmosferas térmicas de la vivienda .....	22
3.5.	Simulación Térmica En Las Atmosferas.....	22
4.	Resultados.....	23
4.1.	Comparación Resultados Térmicos antes y después de aplicar la tecnología en la atmosfera 1 .....	23
4.2.	Comparación Resultados Térmicos antes y después de aplicar la tecnología en la atmosfera 2 .....	25
4.3.	Comparación Resultados Térmicos antes y después de aplicar la tecnología en la atmosfera 3.....	27
4.4.	Comparación Resultados Térmicos antes y después de aplicar la tecnología en la atmosfera 4.....	28
4.5.	Simulación Energética Consumo Kwh/M2/Año Y Costo Anual De Energía Al Año Sin La tecnología.....	30
4.6.	Simulación Energética Consumo Kwh/M2/Año Y Costo Anual De Energía Al Año Con La tecnología .....	32
4.7.	Costos y Amortización.....	33
4.7.1.	Costo implementación de la tecnología al caso de estudio .....	33
4.7.2.	Amortización.....	34
5.	CONCLUSIONES .....	34

## Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1: Representación gráfica de conceptos .....	11
Ilustración 2: Datos de entrada, proceso y resultados OASYS .....	12
Ilustración 3: Datos de entrada, proceso y resultados CBE Thermal Comfort Tool .....	12
Ilustración 4: Datos de entrada, proceso y resultados REVIT .....	13
Ilustración 5: Datos de entrada, proceso y resultados Insight .....	13
Ilustración 6: Localización proyecto, estación meteorológica y temperaturas externas histórico promedio anual.....	14
Ilustración 7: Estaciones climáticas de la Sabana de Bogotá y temperaturas promedio del periodo Enero a Marzo .....	14
Ilustración 8: Interfaz software CBE Thermal Tool .....	15
Ilustración 9: Gráfica de Givonni para la sabana de Bogotá .....	15
Ilustración 10: Carta Solar Urbana .....	16
Ilustración 11: Representación gráfica de ventana tradicional .....	16
Ilustración 12: Funcionamiento térmico ventana UVA.....	17
Ilustración 13: Unidad de vidrio aislante (UVA) .....	17
Ilustración 14: Relación eficiencia, durabilidad, costo y disponibilidad entre tipos de ventanas .....	18
Ilustración 15: Relación eficiencia, durabilidad, costo y disponibilidad en la adaptación nativa .....	18
Ilustración 16: Propuesta mejoramiento técnico en UVA nativo.....	19
Ilustración 17: Proceso de instalación del sistema UVA nativo .....	19
Ilustración 18: Tipologías de vivienda en la agrupación del proyecto Pimiento - Hacienda Fontanar de Amarilo .....	20
Ilustración 19: Tipología 2 vivienda casa Passo.....	20
Ilustración 20: Plantas arquitectónicas vivienda tipo Passo .....	20

Ilustración 21: Análisis solar de las diferentes orientaciones .....	21
Ilustración 22: Materiales de construcción y coeficiente térmico .....	21
Ilustración 23: Identificación Atmósferas .....	22
Ilustración 24: Esquema de operación del software OASYS con Atmósferas, materiales y superficies.....	23
Ilustración 25: Datos generados por el software OASYS .....	23
Ilustración 26: Atmósfera 1 .....	24
Ilustración 27: Resultados Térmicos antes y después de aplicar la tecnología .....	24
Ilustración 28: Gráfico analógico de la mejora térmica en atmósfera 1 antes y después...	25
Ilustración 29: Atmósfera 2 .....	25
Ilustración 30: Resultados Térmicos antes y después de aplicar la tecnología .....	26
Ilustración 31: Gráfico analógico de la mejora térmica en atmósfera 2 antes y después...	26
Ilustración 32: Atmósfera 3 .....	27
Ilustración 33: Resultados Térmicos antes y después de aplicar la tecnología .....	27
Ilustración 34: Gráfico analógico de la mejora térmica en atmósfera 3 antes y después...	28
Ilustración 35: Atmósfera 4 .....	28
Ilustración 36: Resultados Térmicos antes y después de aplicar la tecnología .....	29
Ilustración 37: Gráfico analógico de la mejora térmica en atmósfera 3 antes y después...	29
Ilustración 38: Modelo 3D .....	30
Ilustración 39: Parametrización de materiales.....	30
Ilustración 40: Orientación del modelo 3D con respecto al Norte.....	31
Ilustración 41: Modelo energético en software Insight.....	31
Ilustración 42: Interfaz de navegación bioclimática del software Insight .....	32
Ilustración 43: Costos metro cuadrado de una UVA.....	33
Ilustración 44: Comparación antes y después consumo energético y monetario además de tasa de amortización de la inversión vs tiempo .....	34

## RESUMEN

Debido a la importancia de reducir el consumo de energía surge la necesidad de realizar una investigación la cual permita identificar una tecnología que solucione o mejore las condiciones térmicas en la vivienda de la sabana de Bogotá reduciendo el consumo energético. Para este caso particular se tomó como caso puntual de estudio las unidades de vidrio aislante (UVA) donde una de sus principales características es la regulación de la temperatura interna de un espacio en particular o en general dentro de la vivienda.

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo en varias etapas como lo fueron: primero, se identificaron las condiciones climáticas de la región para entender el punto de confort adaptativo y así saber cuál es la temperatura de confort térmico en donde se encuentre un individuo en esta región climática en específico. En segunda instancia se llevó a cabo la identificación de las viviendas del proyecto Pimiento - Hacienda Fontanar donde se realizó un estudio solar para identificar la unidad de vivienda que presentara la posición solar más crítica y por lo tanto la que se instalarían sistemas de Heating, Ventilation, Air Conditioner (HVAC) para mejorar las condiciones térmicas de estas, esto conlleva a un incremento considerable en el consumo de energía y a su vez un gran gasto económico. La tercera etapa consistió en crear modelos tridimensionales de la vivienda anteriormente mencionada y la alimentación de los datos en herramientas digitales para así poder generar tanto modelos analíticos energéticos como también modelos analíticos térmicos para conocer el consumo de energía además del comportamiento térmico antes y después de implementada la tecnología que consiste en la instalación de UVA.

Para el uso de la tecnología se analizó inicialmente con sistemas foráneos como lo son las UVA con perfilería en PVC y Aluminio, posteriormente se identificó una adaptación nativa la cual presentaba inconvenientes en el grado de eficiencia en la perfilería metálica, para esto se generaron propuestas de bajo costo para el mejoramiento de la misma. Por último, se realizó una comparación de la reducción del costo de la energía usando sistemas de HVAC y un periodo de amortización sobre el costo de instalación de las UVA en la vivienda del caso de estudio.

**Palabras Clave:** HVAC, UVA, confort térmico, confort adaptativo, habitabilidad, consumo energético, herramientas digitales.

## ABSTRACT

Due to the importance of reducing energy consumption, there is a need to do a research to identify a technology that will solve or improve the thermal conditions in the housing of the Bogotá savannah, reducing energy consumption. For this particular case it was taken as a case study of the insulating glass units (IGU) where one of its main characteristics is the regulation of the internal temperature of a particular space or in general inside the house.

The development of the project was carried out in several stages as they were: first, the climatic conditions of the region were identified to understand the adaptive comfort point and to know what is the temperature of thermal comfort where an individual is in this specific climatic region. In second instance, the identification of the houses of the Pimiento - Hacienda Fontanar project was carried out, where a solar study was made to identify the housing unit that presented the most critical solar position and therefore the one that would install Heating, Ventilation, Air Conditioner (HVAC) systems. To improve the thermal conditions of these, this leads to a considerable increase in the consumption of energy and at the same time a great economic expense. The third stage consisted in the creation three-dimensional models of the selected housing and the feeding of the data in digital tools in order to generate both analytical energy models as well as thermal analytical models to know the energy consumption in addition to the thermal behavior before and after implemented the technology that consists in the installation of IGU.

For the technology use, it was initially analyzed with foreign systems such as IGU with profiles in PVC and Aluminum, later a native adaptation was identified which presented drawbacks in the degree of efficiency in the metal profiling, for this purpose proposals of low cost for the improvement of it. Finally, a comparison was made of the reduction of the cost of energy using HVAC systems and a depreciation period on the cost of installing the IGU in the housing of the case study.

**Key words:** HVAC, IGU, thermal comfort, adaptive comfort, habitability, energy consumption, digital tools.



## INTRODUCCIÓN

Para el ejercicio práctico de este proyecto investigativo se tomó como caso de estudio una vivienda del proyecto Pimiento - Hacienda Fontanar de la constructora Amarillo ubicado en el municipio de Chía Cundinamarca al que se le realizaron simulaciones térmicas y energéticas mediante el uso de herramientas digitales como OASYS thermal tool, Revit, Insight y CBE Thermal Comfort Tool, con el fin de demostrar la reducción del consumo energético de la vivienda implementando la tecnología de UVA (Unidad de Vidrio Aislante) proporcionando el nivel óptimo de confort térmico en la vivienda y demostrando así su efectividad en la regulación de la temperatura de confort dentro de la vivienda para así reducir el uso de sistemas de calefacción artificial como lo son las HVAC.

## PROBLEMÁTICA

En la sabana de Bogotá usualmente existe una condición constante de inconformidad con el clima, esto conlleva a la utilización de sistemas de calefacción artificial lo que genera un aumento en el consumo energético de las viviendas en un 60%, que representa un problema en el uso innecesario de recursos energéticos. El proyecto propone una alternativa para la reducción de este consumo así ayudando a los habitantes de la vivienda a ahorrar energía y dinero a partir de la instalación de UVA lo que proporcionaría mejoras en la temperatura de confort en las horas de habitabilidad.

## HIPÓTESIS

¿Cómo mejorar el confort térmico y disminuir el consumo energético a bajo costo en la vivienda de la Sabana de Bogotá a partir del doble acristalamiento?

## JUSTIFICACIÓN

Este proyecto de investigación surge debido a la inconformidad de la sensación térmica de las viviendas lo que genera un gasto adicional tanto en la implementación sistemas de HVAC como en el incremento del uso energético. En la actualidad se ha empezado a implementar tecnologías extranjeras como lo es el UVA pero estas presentan el problema de su precio muy alto y su disponibilidad en el país es reducida, por ende se propone una solución nativa con adaptaciones para aumentar su eficiencia y generar el confort térmico basado en las condiciones climáticas de la sabana de Bogotá.

## Objetivos

### General

- Optimizar la tecnología de UVA utilizada de forma nativa para el mejoramiento del confort térmico de la vivienda de la sabana de Bogotá

### **Específicos**

- Estudiar el comportamiento térmico en la vivienda con herramientas digitales antes y después de aplicar la tecnología.
- Mejorar la eficiencia funcional de un doble acristalamiento utilizado nativamente en la región.
- Demostrar la mejora en el confort térmico en la vivienda a partir del doble acristalamiento
- Demostrar la disminución de consumo energético de la vivienda con la tecnología.
- Demostrar el periodo de amortización económica al mediano plazo con la instalación de la tecnología.

## **1. Marco Teórico**

### **1.1. Conceptos**

#### **1.1.1. Confort Térmico**

El confort térmico es la condición de la mente que expresa satisfacción con el entorno térmico y se evalúa mediante una evaluación subjetiva (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2017).

#### **1.1.2. Confort Adaptativo**

El modelo adaptativo se basa en la idea de que el clima exterior influye en la comodidad interior porque los humanos pueden adaptarse a diferentes temperaturas en diferentes épocas del año. La hipótesis adaptativa predice que los factores contextuales, como tener acceso a los controles ambientales, y la historia térmica pasada pueden influir en las expectativas y las expectativas térmicas de los ocupantes del edificio (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2017). Para el ejercicio práctico de esta investigación se toma como referencia el modelo de confort adaptativo.

#### **1.1.3. Sistemas de HVAC**

*Calefacción ventilación y aire acondicionado por sus ciclos en inglés.* El objetivo de estos sistemas es crear atmosferas térmicas optimas en el espacio en que se encuentren localizados (ASHRAE, 2005).

#### **1.1.4. Eficiencia Energética**

Es toda aquella actividad física o activa que se realice para disminuir el consumo de energía eléctrica (Fundación Repsol, 2015).

#### **1.1.5. Habitabilidad**

Tiempo de permanencia promedio de un habitante en un espacio determinado. Para este ejercicio práctico se tomó como referencia una habitabilidad promedio de 16 horas (Heidegger , 1994).

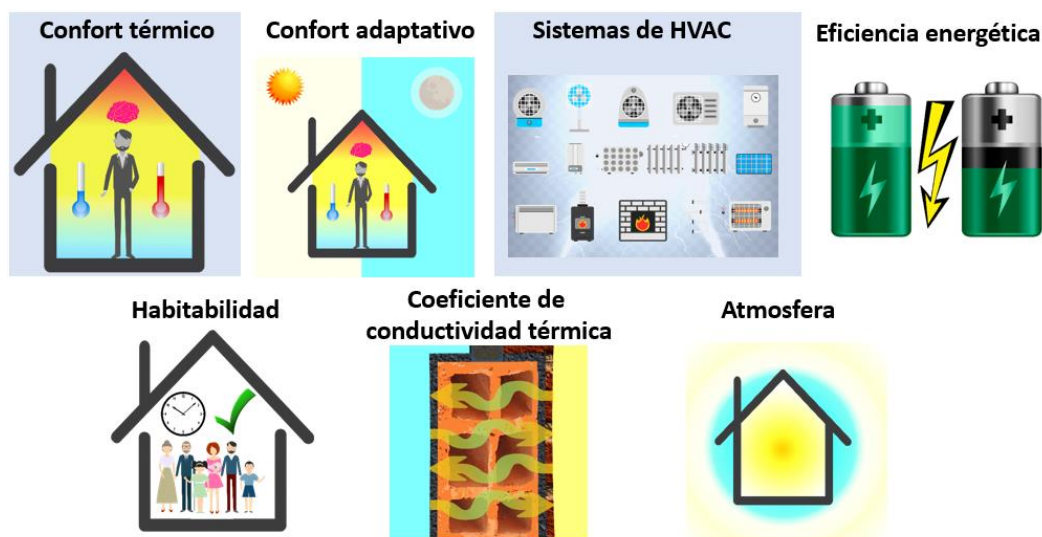
### 1.1.6. Coeficiente de Conductividad Térmica

El coeficiente de conductividad térmica es una característica de cada sustancia y expresa la magnitud de su capacidad de conducir el calor (Lide, 2009).

### 1.1.7. Atmósfera

Aire o estado del aire que rodea un lugar abierto o que está contenido en un lugar cerrado (RAE, 2018).

*Ilustración 1: Representación gráfica de conceptos*



*Fuente 1: Autor*

## 2. Metodología

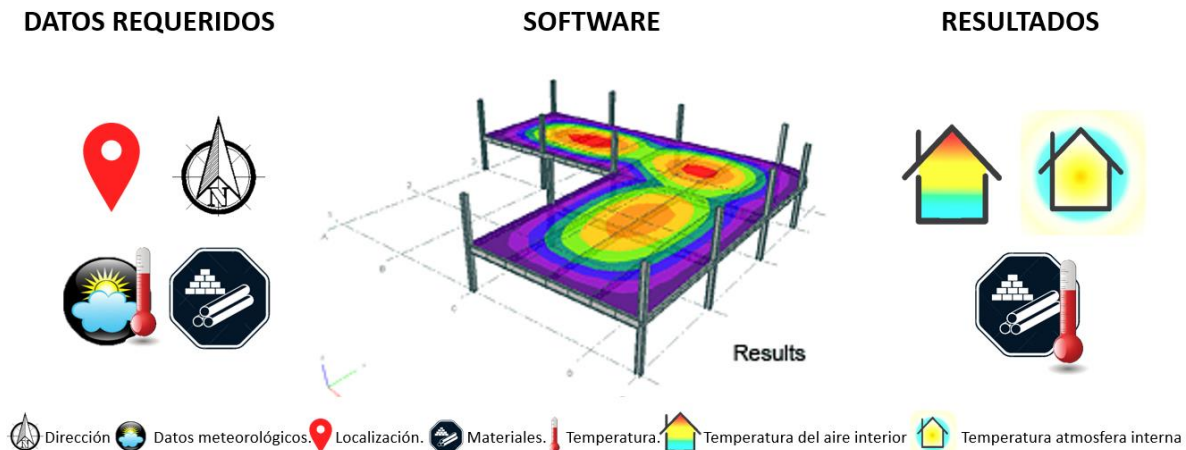
### 2.1. Operación de Software para el Análisis Bioclimático

Para este proyecto de investigación se usaron 4 softwares digitales los cuales fueron Oasys Thermal tool, CBE thermal confort tool, Revit e Insight, los cuales a partir de variables de entrada como lo son la ubicación del proyecto, su orientación, temperatura meteorológica y temperaturas promedio de la estación climática seca.

#### 2.1.1. Oasys Thermal tool

Este software permitió la obtención de datos como la temperatura del aire interior para generar atmósferas térmicas de los diferentes espacios y temperatura radiante de placa de entepiso, contrapiso, cubiertas, muros interiores y muros exteriores de la vivienda a partir de variables de entrada como la ubicación del proyecto, su orientación, temperatura meteorológica y temperaturas promedio, materiales de construcción con sus correspondientes coeficientes térmicos.

Ilustración 2: Datos de entrada, proceso y resultados OASYS

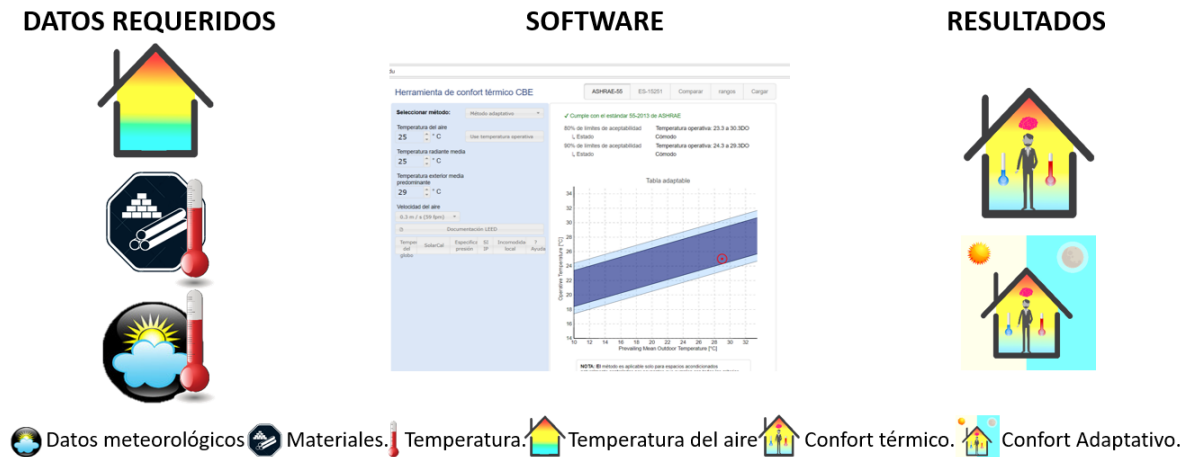


Fuente 2: Autor

### 2.1.2. CBE Thermal Comfort Tool

Este software permite determinar la temperatura de confort térmico y el rango del confort térmico adaptativo con datos de entrada como lo son: datos meteorológicos, materiales de construcción, temperatura radiante promedio arrojadas por el software OASYS thermal tool.

Ilustración 3: Datos de entrada, proceso y resultados CBE Thermal Comfort Tool



Fuente 3: Autor

### 2.1.3. Revit e Insight

En el software Revit se genera el modelo 3D de la vivienda seleccionada como caso de estudio donde se parametrizan los espesores y materiales con sus respectivos coeficientes térmicos, orientación y localización del proyecto para así obtener un estudio solar y un modelo analítico energético. El estudio solar permitió determinar cuál de las orientaciones que presenta la vivienda en el proyecto era la más crítica y una vez determinada se genera el modelo analítico energético el cual es exportado al software Insight dónde éste toma los datos y brinda el nivel de consumo energético para esta vivienda en particular.

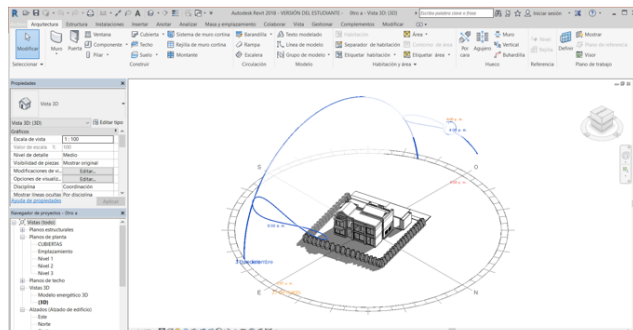
Posteriormente se navega en el software seleccionando distintos comandos para aplicar la tecnología del doble acristalamiento y determinar las nuevas horas de consumo HVAC.

*Ilustración 4: Datos de entrada, proceso y resultados REVIT*

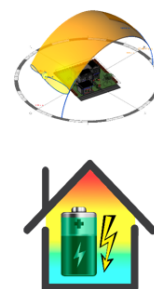
## DATOS REQUERIDOS









## SOFTWARE



## RESULTADOS



 Dirección  Datos meteorológicos  Localización  Materiales  Temperatura  Modelo Analítico Energético  Simulación Solar

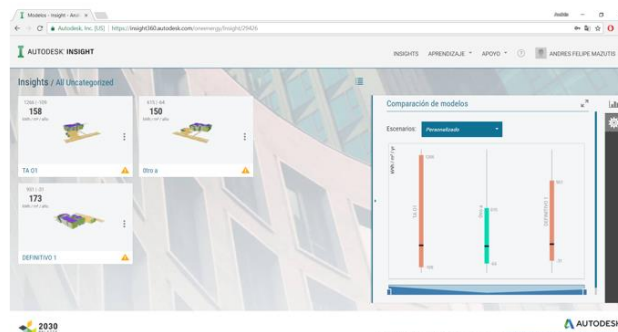
*Fuente 4: Autor*

*Ilustración 5: Datos de entrada, proceso y resultados Insight*

## DATOS REQUERIDOS



## SOFTWARE



## RESULTADOS



 Datos meteorológicos  Localización  Temperatura  Consumo energético en kilowatt  Modelo Analítico Energético

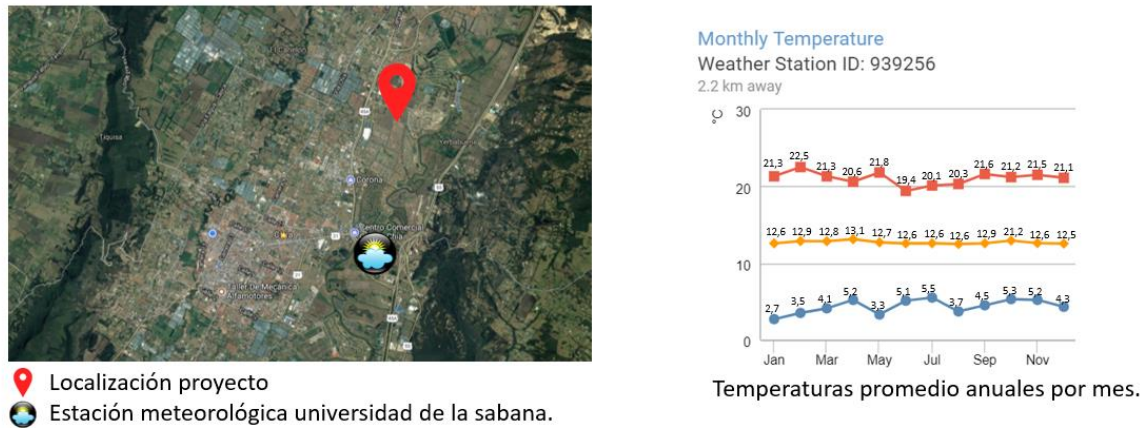
*Fuente 5: Autor*

## 2.2. Clima y Localización

### 2.2.1. Localización Y Temperatura Externa De La Sabana De Bogotá

El proyecto seleccionado se encuentra localizado en el municipio de Chía, Cundinamarca con coordenadas 4°53'20.7"N 74°01'32.3"W, en el macroproyecto de vivienda Hacienda Fontanar.

Ilustración 6: Localización proyecto, estación meteorológica y temperaturas externas histórico promedio anual

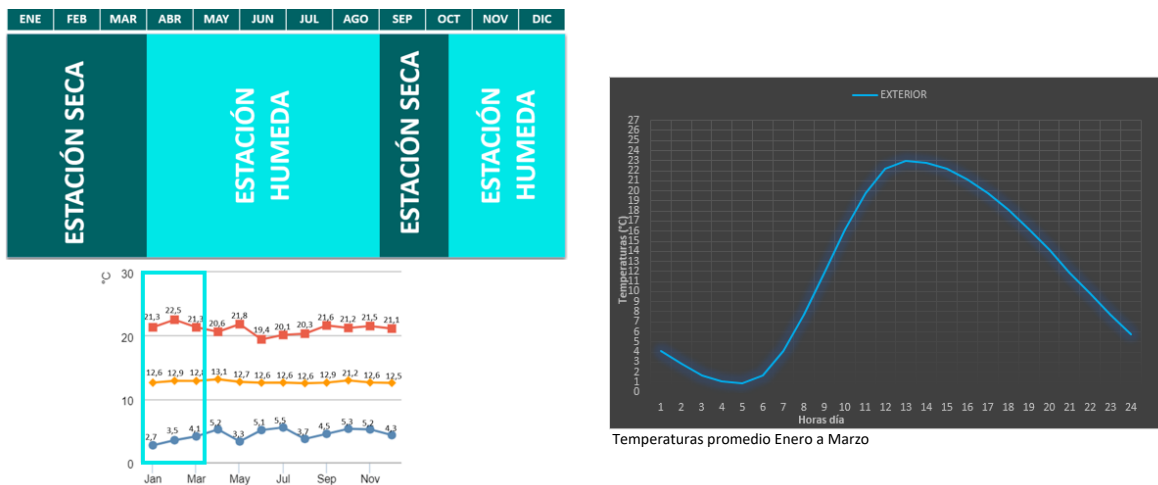


Fuente 6: Google Earth intervenido por el autor, Insight

### 2.2.2. Estaciones Climáticas De La Sabana De Bogotá

Las estaciones climáticas nos permiten determinar que el periodo del año más crítico es el comprendido de enero a marzo siendo este el que más variaciones térmicas contiene por lo que el promedio de estas temperaturas hora a hora en esos meses serán utilizadas como temperaturas externas Definición de confort adaptativo.

Ilustración 7: Estaciones climáticas de la Sabana de Bogotá y temperaturas promedio del periodo Enero a Marzo



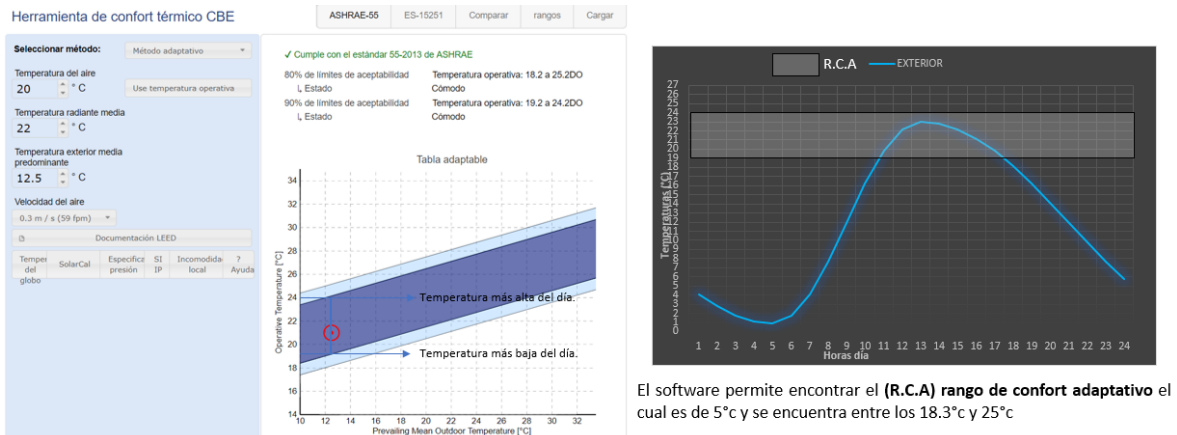
Fuente 7: Autor, Insight intervenido por el Autor

### 2.2.3. Definición del confort adaptativo

La definición del confort adaptativo se obtuvo con la herramienta digital CBE Thermal tool dónde a esta se le introducen los datos de temperatura del aire, temperatura radiante media y temperatura exterior media predominante. Una vez generados los datos se determina el rango de confort adaptativo para la sabana de Bogotá



Ilustración 8: Interfaz software CBE Thermal Tool

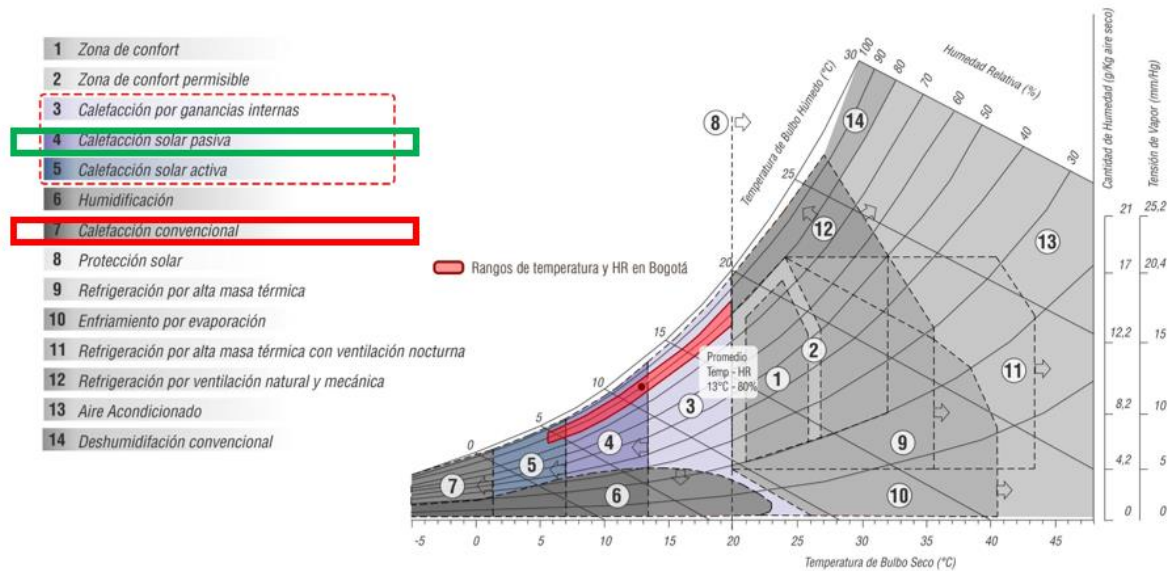


Fuente 8: Autor

#### 2.2.4. Estrategias diagrama Givoni para la sabana de Bogotá

A partir del diagrama de Givoni se entienden las estrategias bioclimáticas a utilizar en la sabana de Bogotá específicamente la estrategia utilizada en este proyecto fue las ganancias Solares Pasivas con el fin de evitar el uso de calefacción convencional con sistemas de HVAC (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2017).

Ilustración 9: Gráfica de Givonni para la sabana de Bogotá

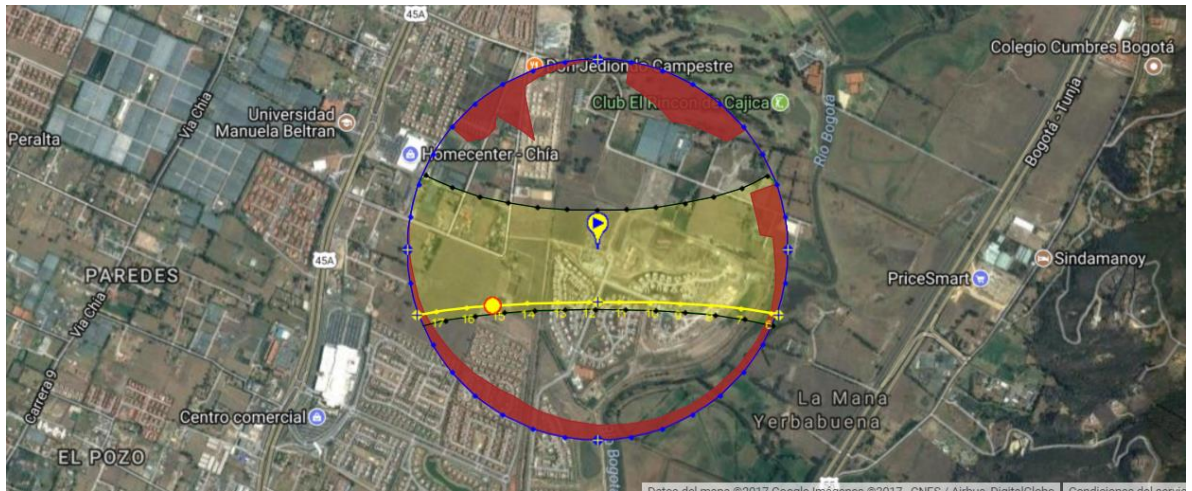


Fuente 9: Intervenida por el Autor

#### 2.2.5. Carta Solar Urbana

Conocer la trayectoria solar en la que se encuentra localizado el proyecto permite entender si el proyecto se encuentra correctamente orientado.

Ilustración 10: Carta Solar Urbana



Fuente 10: SUNEARTHTOOLS

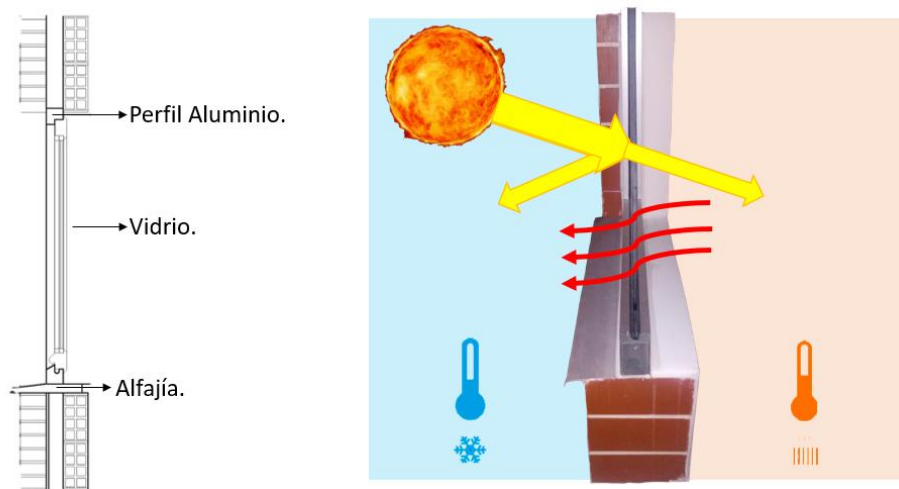
### 2.3. Tecnología de Doble Acristalamiento

Teniendo como base la tecnología actual se puede analizar y entender la aplicación de los UVA. El acristalamiento sencillo compuesto por un único vidrio durante el día permite que la radiación solar entre pero de igual manera en la noche permite que la radiación salga rápidamente (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía, 2008).

#### 2.3.1. Ventana Tradicional

En la actualidad la construcción en la sabana de Bogotá se ha desarrollado con ventanas de gran tamaño para aprovechar la iluminación solar, no obstante, esto es contraproducente ya que el vidrio tiene un coeficiente de conductividad muy rápido lo que genera que la temperatura se transmita de un espacio a otro muy rápido.

Ilustración 11: Representación gráfica de ventana tradicional



Fuente 11: Autor

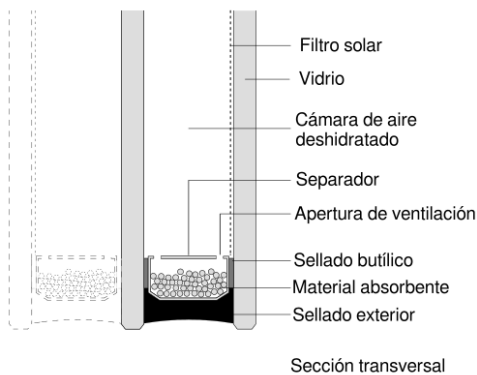


### 2.3.2. Que es el Doble Acristalamiento

Una **unidad de vidrio aislante (UVA)**, también llamado **acristalamiento múltiple** o **acristalamiento con cámara**, es un acristalamiento formado por dos o más láminas de vidrio sin contacto directo entre ellas, dispuestas paralelamente y formando una sola unidad (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía, 2008).

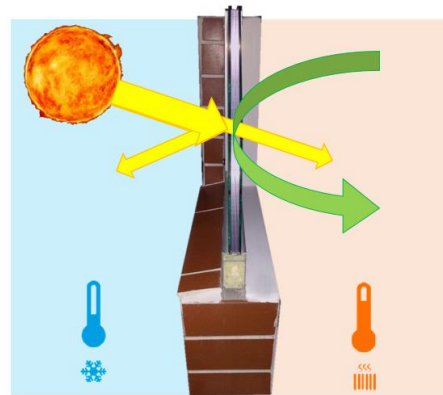
Estas permiten crear una atmosfera térmica entre el interior y el exterior disipando así las pérdidas térmicas.

Ilustración 13: Unidad de vidrio aislante (UVA)



Fuente 12: [https://es.wikipedia.org/wiki/Unidad\\_de\\_vidrio\\_aislante](https://es.wikipedia.org/wiki/Unidad_de_vidrio_aislante)

Ilustración 12: Funcionamiento térmico ventana UVA



Fuente 13: Autor

### 2.3.3. Tecnologías Foráneas de Doble Acristalamiento y Costos

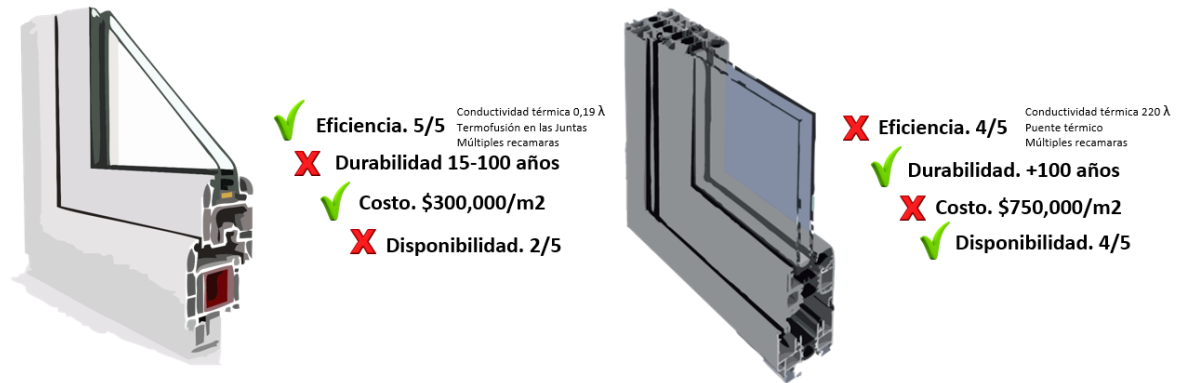
#### 2.3.3.1. Doble Acristalamiento con Perfilería en PVC Multicámara de Aire

A pesar de que la eficiencia del sistema en PVC es excelente gracias a la termofusión en los perfiles se ve afectado por la disponibilidad de este en la región y por corta vida (VEKA, 2015).

#### 2.3.3.2. Doble Acristalamiento en Aluminio Multicámara de Aire y Puente Térmico

Los perfiles en aluminio tienen una eficiencia inferior a los perfiles en PVC por que las juntas en las esquinas no garantizan un sello perfecto, pero su durabilidad es superior en un 40% contra el PVC (European Aluminum Association, 2016)

Ilustración 14: Relación eficiencia, durabilidad, costo y disponibilidad entre tipos de ventanas



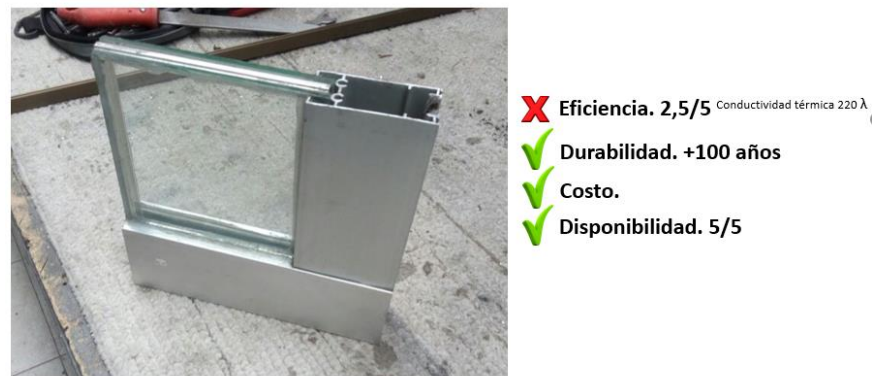
Fuente 14: Autor

### 2.3.4. Adaptación Nativa De Doble Acristalamiento

#### 2.3.4.1. Doble Acristalamiento “Nativo” con Perfilera en Aluminio de una Sola Cámara

En la sabana de Bogotá existe una solución nativa de doble acristalamiento con perfiles nacionales, con mono cámara; Estos tienen una eficiencia media ya que no cuentan con un puente térmico ni múltiples cámaras disipadoras de transmisión térmica, no obstante, el costo de este sistema es exequible y su disponibilidad es muy buena.

Ilustración 15: Relación eficiencia, durabilidad, costo y disponibilidad en la adaptación nativa



Fuente 15: Autor

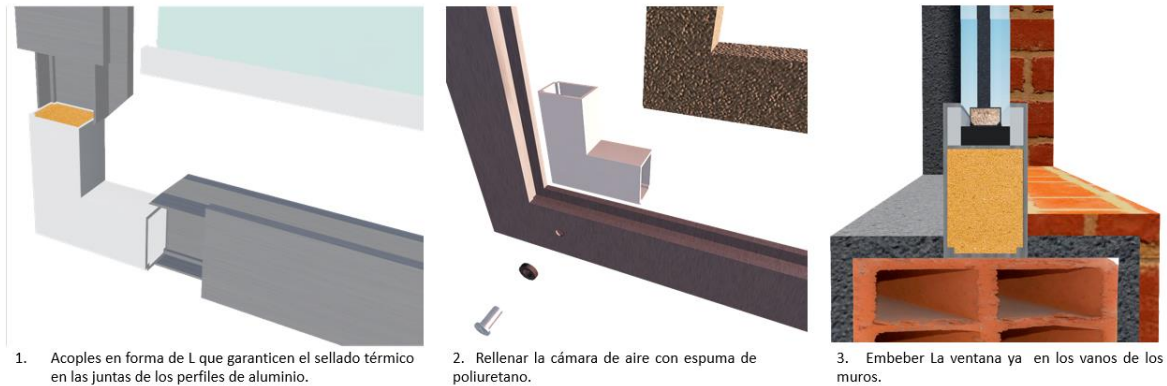
### 2.3.5. Mejoramiento técnico en la adaptación nativa

#### 2.3.5.1. Doble Acristalamiento “Nativo” con Perfilera en Aluminio de una Sola Cámara, propuesta de Mejoramiento Técnico.

Para el mejoramiento de la tecnología nativa se propone tres procesos para garantizar el correcto funcionamiento de la misma. Primero se requiere diseñar acoples en forma de L para las esquinas de los perfiles metálicos que aseguren el sellado de las uniones y así evitar las pérdidas térmicas del interior al exterior. En segunda instancia realizar una inyección de espuma de poliuretano en los perfiles de aluminio para mejorar el comportamiento térmico de los mismos, por

último, embeber las ventanas en los muros del espacio a intervenir para optimizar el correcto sellado entre ventanas y muros evitando pérdidas térmicas.

*Ilustración 16: Propuesta mejoramiento técnico en UVA nativo*



*Fuente 16: Autor*

### 2.3.6. Instalación del sistema

Para la instalación del sistema en primer lugar se fabrica la ventana en un taller y sería transportada al sitio de instalación donde los vanos de los muros deben tener las medidas exactas de la ventana a instalar sin el pañete del interior. Una vez instalada la ventana se procederá a realizar perforaciones en la ventana a una distancia cada 1.5 metros con el fin de que al inyectar la espuma de poliuretano haya una salida de aire y de esta manera haya una correcta distribución del compuesto al interior del perfil.

Una vez inyectado el compuesto se instalará un tornillo con un empaque de goma en los orificios de las diferentes perforaciones.

*Ilustración 17: Proceso de instalación del sistema UVA nativo*



*Fuente 17: Autor*

### 3. ANÁLISIS DEL CASO DE ESTUDIO

#### 3.1. Proyecto Urbano de Vivienda Seleccionado Y Revisión Espacial de las Diferentes Tipologías en el Urbanismos del Proyecto

Se selecciona el proyecto Pimiento - Hacienda Fontanar de la constructora Amarilo ya que este proyecto presenta un diseño urbano orgánico el cual tiene tres tipologías de vivienda orientadas en diferente posición hacia el sol. Las especificaciones de la vivienda son: Área: 208m<sup>2</sup>, 3 habitaciones, sala, comedor, cocina, cuarto tv y estudio.

*Ilustración 18: Tipologías de vivienda en la agrupación del proyecto Pimiento - Hacienda Fontanar de Amarilo*



*Fuente 18: Google Earth intervenido por el Autor*

Para el análisis del caso de estudio se elige la vivienda tipo 2 debido a que esta es la que presenta mayor número de orientaciones con respecto al norte como se observa en la ilustración 15

*Ilustración 19: Tipología 2 vivienda casa Passo*



*Fuente 20: <http://amarilo.com.co/>*

*Ilustración 20: Plantas arquitectónicas vivienda tipo Passo*



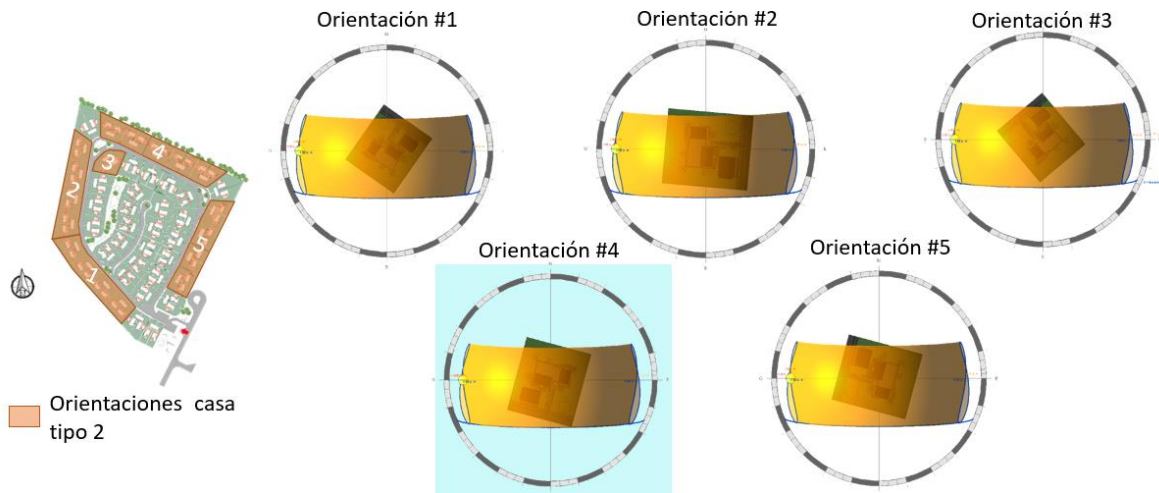
*Fuente 19: Autor*



### 3.2. Análisis Solar De La Vivienda Seleccionada

Se realizó un modelo tridimensional de la vivienda en el programa REVIT y ésta fue sometida a un estudio solar en las diferentes orientaciones que presentaba frente a este. Fue seleccionada la orientación número 4 como caso puntual para la implementación de la tecnología ya que esta presentaba la disposición más crítica frente al sol como se muestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 21: Análisis solar de las diferentes orientaciones



Fuente 21: Autor

### 3.3. Materiales De Construcción De La Vivienda

Para la construcción del modelo 3D en los diferentes softwares bioclimáticos utilizados para este proyecto se tuvieron en cuenta los materiales específicos con los cuales son construidas tradicionalmente las viviendas en la sabana de Bogotá.

Los siguientes materiales con su respectivo **(coeficiente térmico)** fueron utilizados como referencia para realizar las simulaciones térmicas y energéticas.

Ilustración 22: Materiales de construcción y coeficiente térmico

TIERRA 0,50 $\lambda$	ESPUM AISLANTE 0,37 $\lambda$	ACERO 52,00 $\lambda$	CEMENTO 1,25 $\lambda$	ESPUMA DE POLIURETANO 0,33 $\lambda$
RECEBO GRUESO 0,76 $\lambda$	LAMINAD 0,16 $\lambda$	IMPERMEAB-LILIZANTE VARIABLE- $\lambda$	BLOQUES DE LADRILLO COCIDO 1,40 $\lambda$	VIDRIO 0,81 $\lambda$
RECEBO FINO 0,76 $\lambda$	DRYWALL 1,40 $\lambda$	MADERA 0,16 $\lambda$	LADRILLO DE BARRO COCIDO 0,80 $\lambda$	AIRE VARIABLE- $\lambda$
CONCRETO 1,25 $\lambda$	FRESCASA AISLANTE 0,37 $\lambda$	TEJAS DE BARRO COCIDO 0,76 $\lambda$	ALUMINIO 220,00 $\lambda$	

Fuente 22: Autor & Materiales Sostenibles (Eduardo Rocha Tamayo, 2012)

### 3.4. Definición de atmósferas térmicas de la vivienda

Se definió cada atmósfera como cualquier área de la vivienda que se encuentre contenida en un espacio dividido por muros y puertas independiente a otro espacio. En el caso de estudio se identificaron cuatro atmósferas las cuales se identificaron una como las áreas comunes de la vivienda conteniendo cocina, sala, comedor, sala de estar y/o estudio, cuarto de tv y circulaciones, las otras tres se identifican como la habitación principal y las dos secundarias.

*Ilustración 23: Identificación Atmósferas*



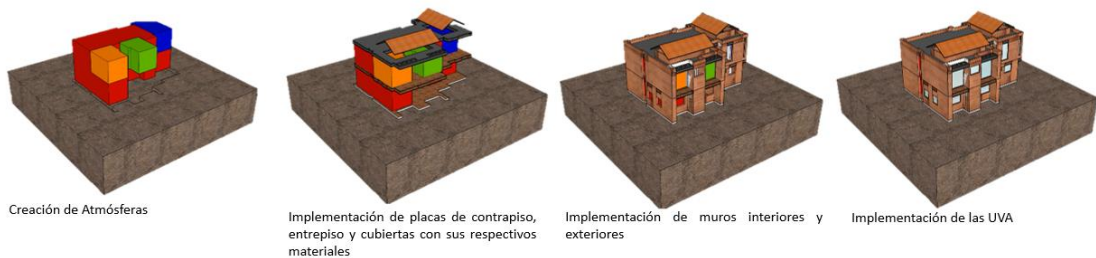
*Fuente 23: Autor*

### 3.5. Simulación Térmica En Las Atmósferas

Para las simulaciones térmicas se utilizó la herramienta digital OASYS Thermal tool, en la cual se crean las atmósferas como masas conceptuales a las cuales se les introducen valores con el espesor de los muros, ventanas, pisos y cubiertas especificando el grosor correspondiente de cada material y con su coeficiente térmico además de la temperatura externa de la región, de esta forma el programa determina la irradiación térmica de las superficies y adicionalmente la temperatura interna de las atmósferas.

Para el ejercicio práctico de teórico de este proyecto se realizaron dos simulaciones por cada atmósfera térmica una antes de aplicar la tecnología y la otra luego de aplicar la tecnología para determinar la mejoría dada por la tecnología implementada.

Ilustración 24: Esquema de operación del software OASYS con Atmósferas, materiales y superficies



Fuente 24: Autor

Ilustración 25: Datos generados por el software OASYS

Température extérieure (°C)													
4.1	2.8	1.7	1.1	0.9	1.7	4.1	7.7	11.9	16.2	19.8	22.2	23.0	22.8
22.2	21.1	19.8	18.1	16.2	14.1	11.9	9.8	7.7	5.8				
Température résultante sèche de la zone (°C)													
18.1	17.5	16.9	16.5	16.0	15.8	16.2	17.0	18.9	19.8	20.9	21.8	22.8	23.3
23.2	23.0	22.9	22.7	22.2	21.9	20.5	20.0	19.4	18.9				
Température résultante sèche de la zone (°C)													
18.2	17.5	17.0	16.5	16.2	16.0	17.6	18.9	19.2	20.5	21.9	22.9	23.5	23.8
23.8	23.4	22.7	21.8	21.2	21.4	21.5	21.0	20.4	19.0				
Température surfacique moyenne des murs (°C)													
19.1	18.5	18.0	17.5	17.0	16.7	16.9	17.6	19.0	19.8	20.8	21.7	22.7	23.2
23.3	23.2	23.1	22.8	22.5	22.3	21.3	20.8	20.3	19.8				
Apports internes sensibles: occupants + éclairage + équipement (W)													
0	0	0	0	0	0	0	0	439	320	320	320	515	511
320	320	500	697	561	603	0	0	0	0	0	0	0	0
Energie solaire apportée à la zone provenant des vitrages.											9351 Wh		
Total journalier des apports internes sensibles .....											5426 Wh		
Température surfacique moyenne du plancher (°C)													
18.7	18.4	18.1	17.9	17.6	17.4	17.6	18.0	18.9	19.3	19.8	20.2	20.7	20.9
20.8	20.7	20.6	20.5	20.4	20.3	19.7	19.5	19.2	19.0				
Température surfacique moyenne du plafond (°C)													
21.1	20.4	19.9	19.3	18.8	18.3	18.2	18.5	19.3	20.0	20.8	21.7	22.6	23.3
23.7	23.9	23.9	23.8	23.5	23.3	22.8	22.4	22.1	21.6				
Température de surface côté zone du vitrage n°1: U1Z1													
8.3	6.8	5.9	5.4	5.1	5.6	7.5	10.3	14.0	17.3	20.2	22.2	23.1	23.1
22.5	21.7	20.7	19.5	18.0	16.4	14.4	12.6	11.0	9.5				
Energie solaire en provenance des vitrages absorbée par les parois (W)													
0	0	0	0	0	0	273	566	817	1009	1131	1172	1131	1009
817	566	273	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energie solaire en provenance des vitrages convectée à l'air (W)													
0	0	0	0	0	0	18	38	55	68	76	79	76	68
55	38	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente 25: Autor

4. Resultados

4.1. Comparación Resultados Térmicos antes y después de aplicar la tecnología en la atmosfera 1

Esta atmósfera comprende las áreas sociales de la vivienda siendo estas: cocina, sala, comedor, sala de estar y/o estudio, cuarto de tv y circulaciones, como se muestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 26: Atmósfera 1

PLANTA PISO 1



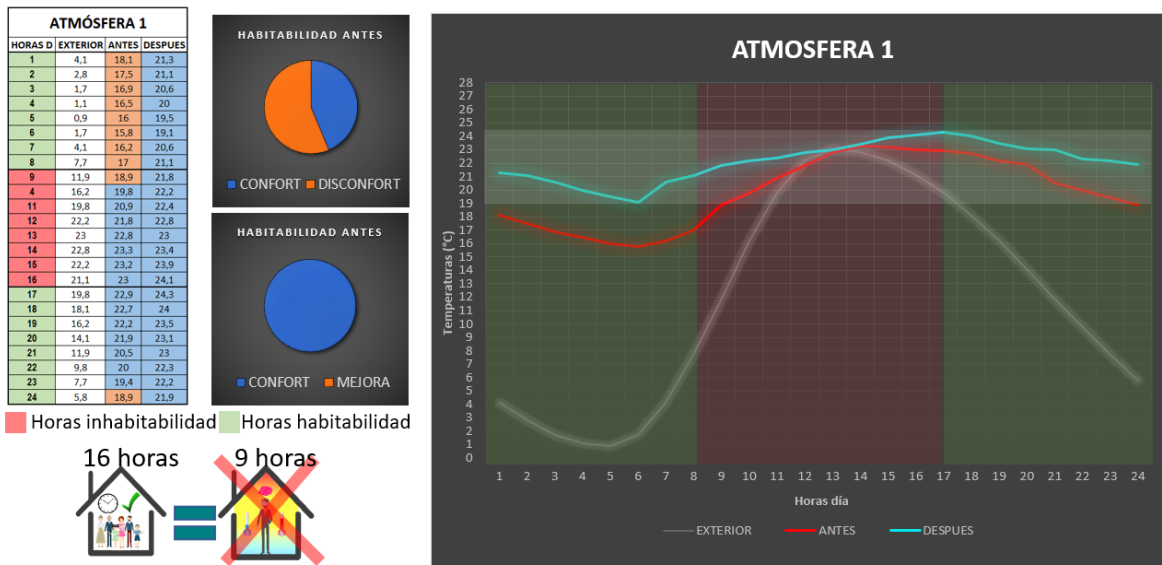
PLANTA PISO 2



Fuente 26: Autor

Se determinaron las horas promedio de habitabilidad de la vivienda las cuales están comprendidas entre las 12:00 hasta las 08:00 y de 17:00 a 24:00. En las simulaciones térmicas se demostró que la atmósfera presenta desconfort térmico en diez horas al día, nueve horas de las 16 horas promedio habitables que corresponde al 56,25% del tiempo, con la incorporación de la tecnología se llega a temperatura de confort el 100% del tiempo habitable.

Ilustración 27: Resultados Térmicos antes y después de aplicar la tecnología

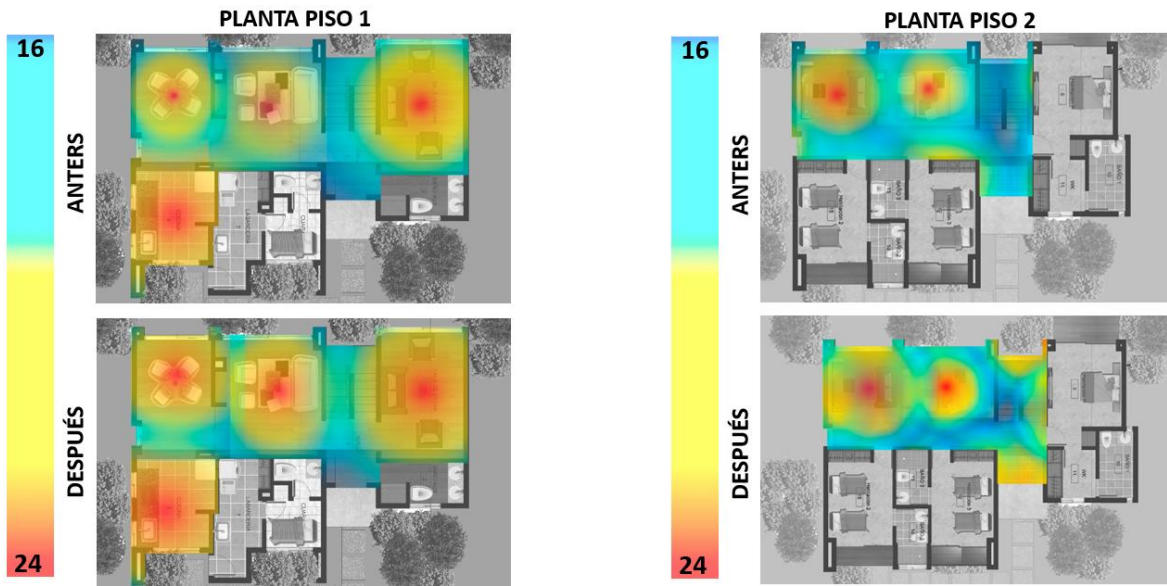


Fuente 27: Autor

Como se observa en la ilustración 27 se evidencia como se llega a temperatura de confort en las horas que presentaban esta deficiencia y en la ilustración 28 se puede evidenciar una mejoría térmica en el espacio.



Ilustración 28: Gráfico analógico de la mejora térmica en atmósfera 1 antes y después

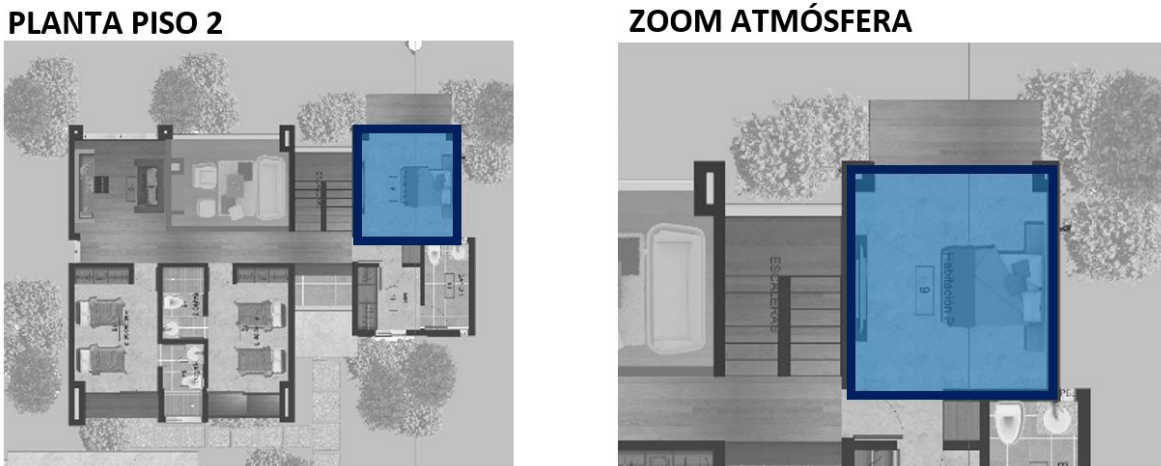


Fuente 28: Autor

#### 4.2. Comparación Resultados Térmicos antes y después de aplicar la tecnología en la atmosfera 2

Esta atmósfera comprende la habitación principal de la vivienda sin incluir el walk-in closet ni el baño como se muestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 29: Atmósfera 2

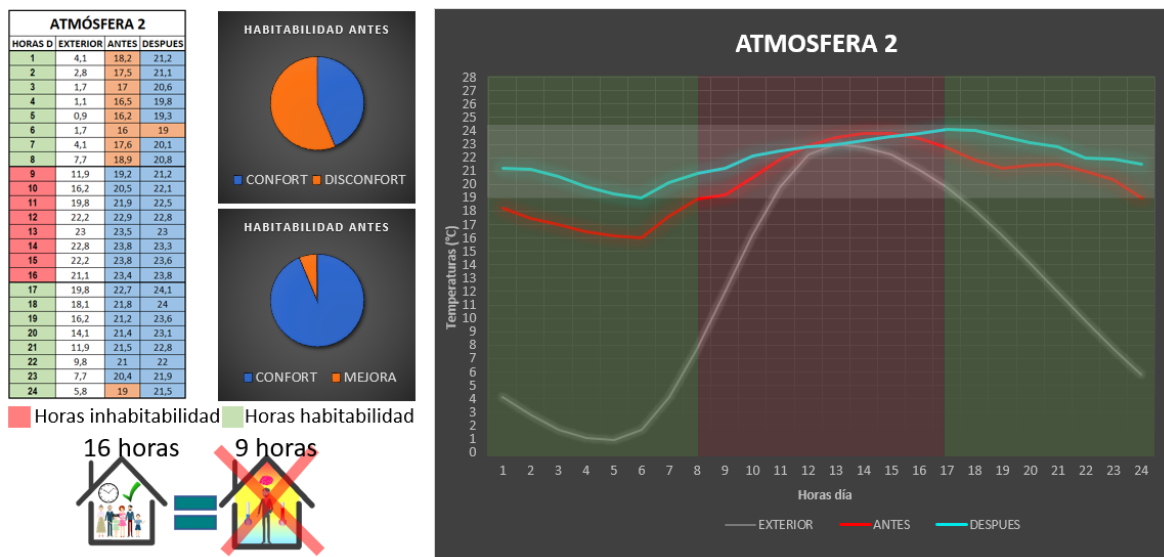


Fuente 29: Autor

Se determinaron las horas promedio de habitabilidad de la vivienda las cuales están comprendidas entre las 12:00 hasta las 08:00 y de 17:00 a 24:00. En las simulaciones térmicas se demostró que la atmósfera presenta desconfort térmico en nueve horas al día, nueve horas de las 16 horas promedio habitables que corresponde al 56,25% del tiempo,

con la incorporación de la tecnología se llega a temperatura de confort el 93,75% y una mejoría en el 6,25% del tiempo habitable.

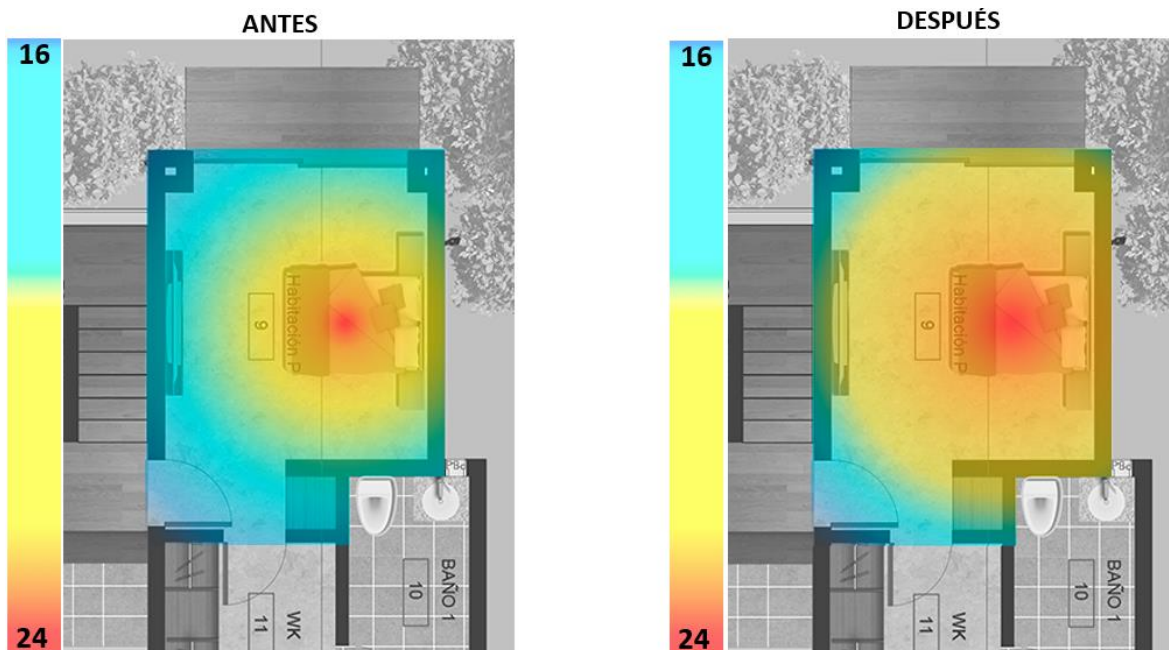
Ilustración 30: Resultados Térmicos antes y después de aplicar la tecnología



Fuente 30: Autor

Como se observa en la ilustración 30 se evidencia como se llega a temperatura de confort o se presenta una mejora en las horas que presentaban esta deficiencia y en la ilustración 31 se puede evidenciar una mejoría térmica en el espacio.

Ilustración 31: Gráfico analógico de la mejora térmica en atmósfera 2 antes y después

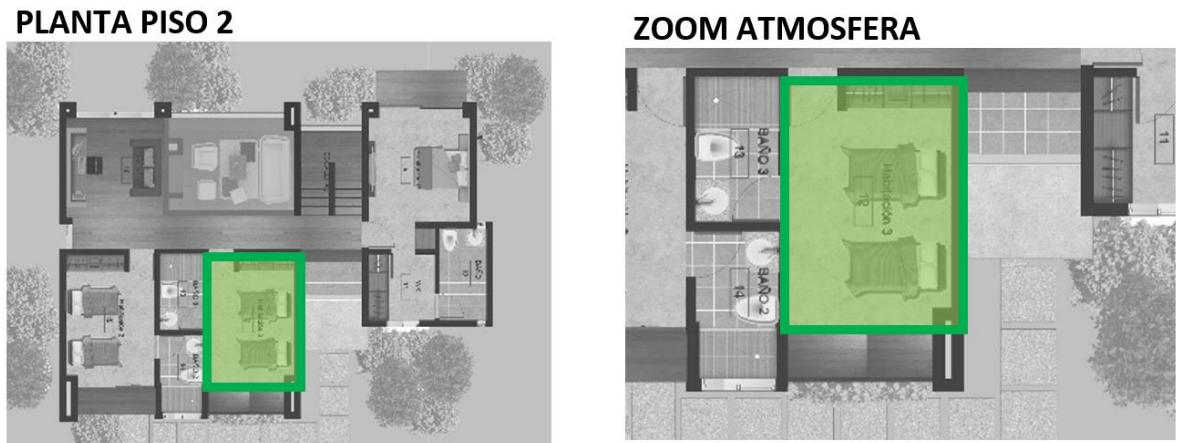


Fuente 31: Autor

#### 4.3. Comparación Resultados Térmicos antes y después de aplicar la tecnología en la atmosfera 3

Esta atmósfera comprende a la habitación número tres de la vivienda sin incluir el baño como se muestra en la siguiente ilustración.

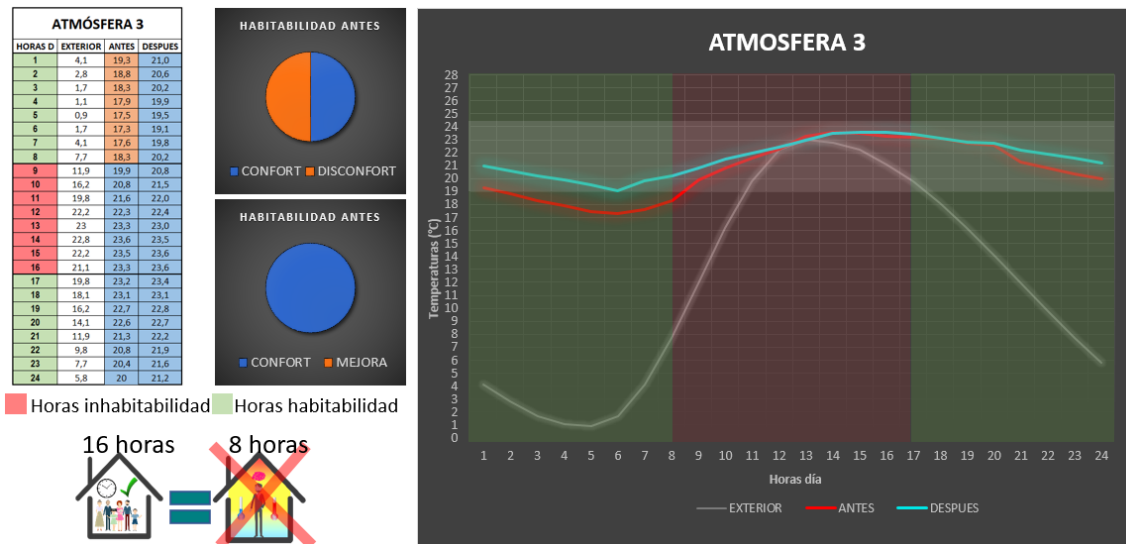
Ilustración 32: Atmósfera 3



Fuente 32: Autor

Se determinaron las horas promedio de habitabilidad de la vivienda las cuales están comprendidas entre las 12:00 hasta las 08:00 y de 17:00 a 24:00. En las simulaciones térmicas se demostró que la atmósfera presenta desconfort térmico en ocho horas al día de las 16 horas promedio habitables que corresponde al 56,25% del tiempo, con la incorporación de la tecnología se llega a temperatura de confort el 100% del tiempo habitable.

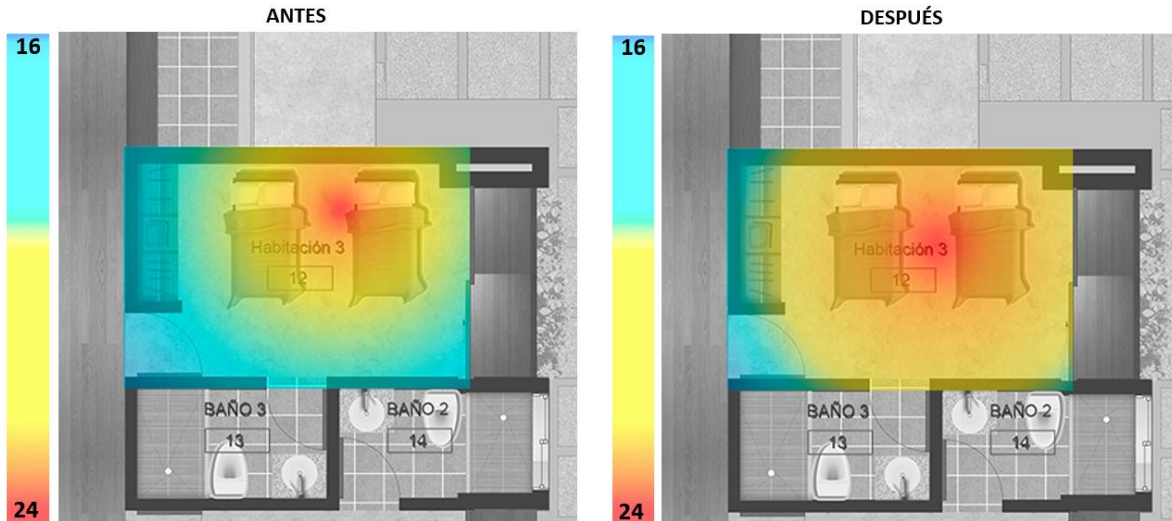
Ilustración 33: Resultados Térmicos antes y después de aplicar la tecnología



Fuente 33: Autor

Como se observa en la ilustración 33 se evidencia como se llega a temperatura de confort en las horas que presentaban esta deficiencia y en la ilustración 34 se puede evidenciar una mejoría térmica en el espacio.

*Ilustración 34: Gráfico analógico de la mejora térmica en atmósfera 3 antes y después*



*Fuente 34: Autor*

#### 4.4. Comparación Resultados Térmicos antes y después de aplicar la tecnología en la atmósfera 4

Esta atmósfera comprende la habitación número 2 de la vivienda sin incluir el baño como se muestra en la siguiente ilustración.

*Ilustración 35: Atmósfera 4*

##### PLANTA PISO 2



##### ZOOM ATMÓSFERA

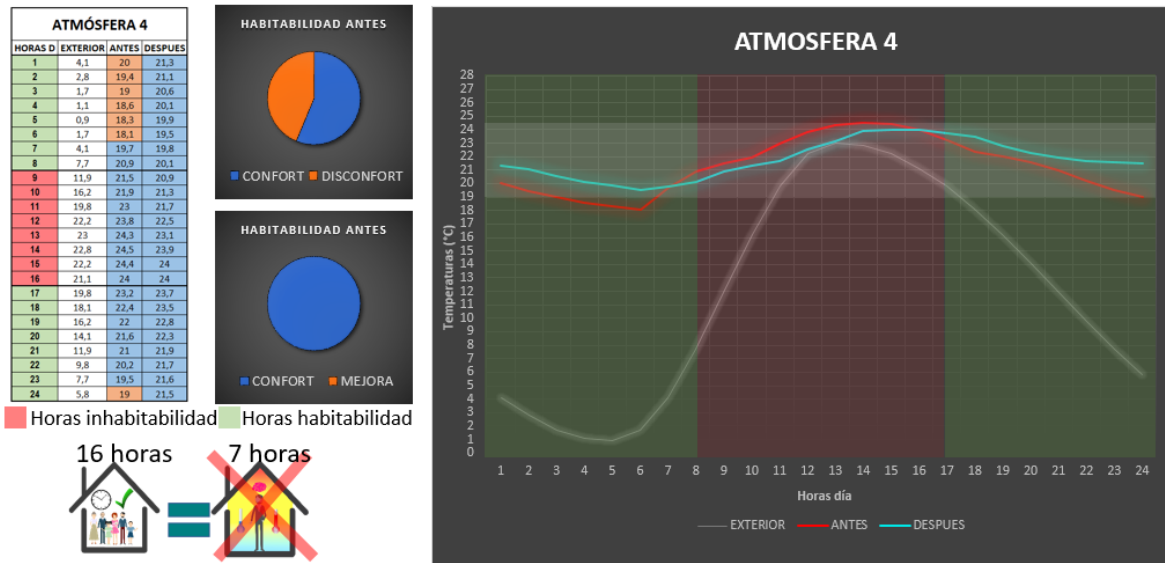


*Fuente 35: Autor*

Se determinaron las horas promedio de habitabilidad de la vivienda las cuales están comprendidas entre las 12:00 hasta las 08:00 y de 17:00 a 24:00. En las simulaciones térmicas se demostró que la atmósfera presenta desconfort térmico en siete horas al día de las 16 horas promedio habitables que corresponde al 56,25% del tiempo, con la incorporación de la tecnología se llega a temperatura de confort el 100% del tiempo habitable.



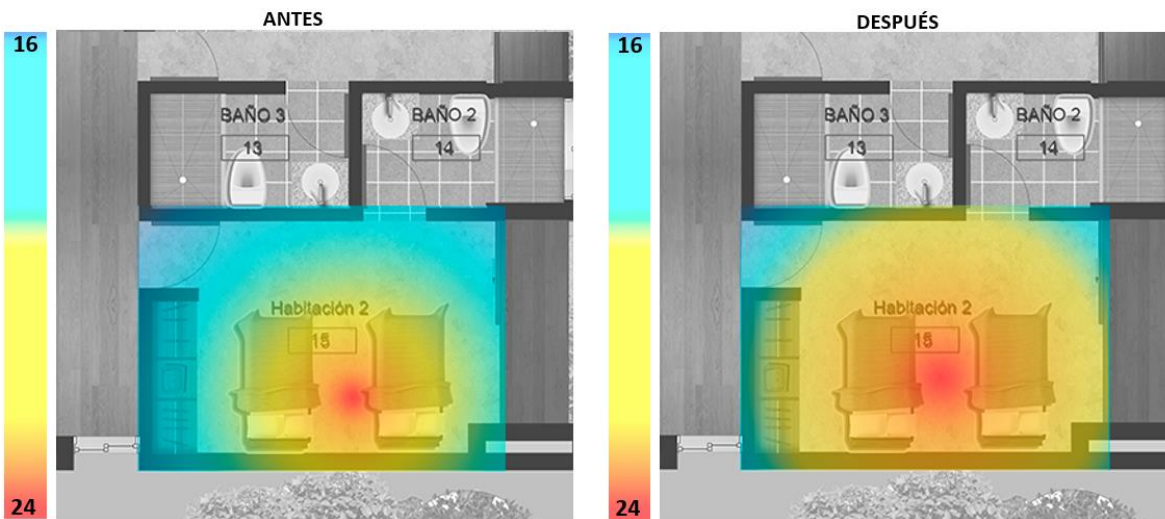
Ilustración 36: Resultados Térmicos antes y después de aplicar la tecnología



Fuente 36: Autor

Como se observa en la ilustración 36 se evidencia como se llega a temperatura de confort en las horas que presentaban esta deficiencia y en la ilustración 37 se puede evidenciar una mejoría térmica en el espacio.

Ilustración 37: Gráfico analógico de la mejora térmica en atmósfera 3 antes y después

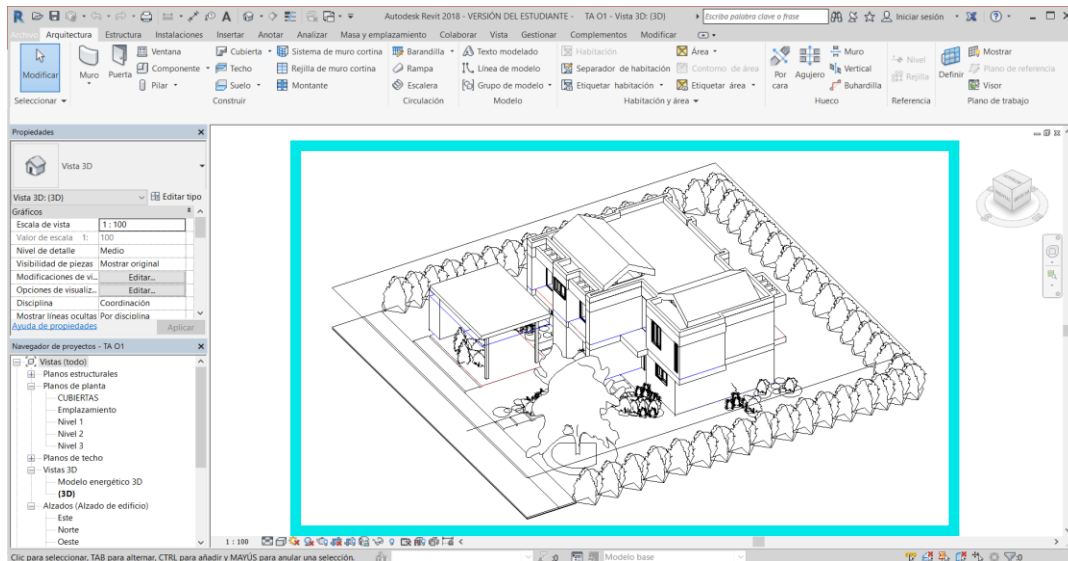


Fuente 37: Autor

#### 4.5. Simulación Energética Consumo Kwh/M2/Año Y Costo Anual De Energía Al Año Sin La tecnología

Para obtener el consumo energético de esta vivienda se elaboró un modelo 3D de la vivienda en el software REVIT

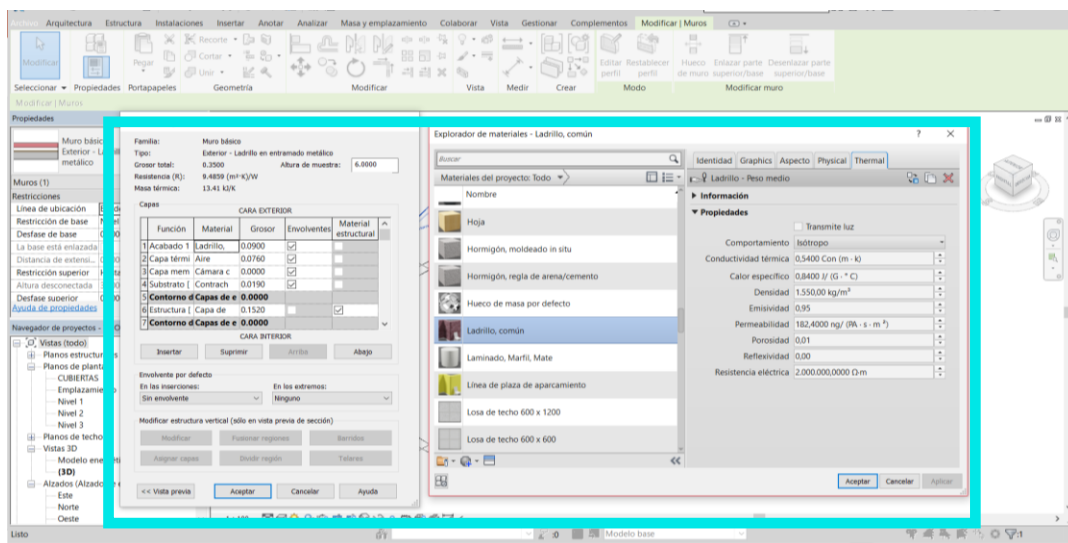
Ilustración 38: Modelo 3D



Fuente 38: Autor

Posteriormente se parametrizaron los materiales de construcción con los que esta se encuentra construida.

Ilustración 39: Parametrización de materiales

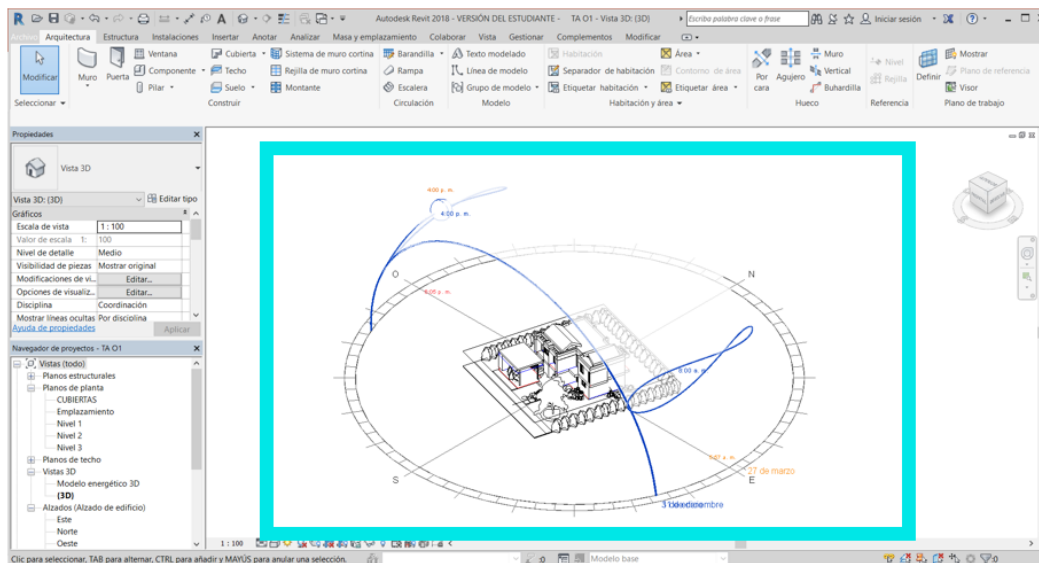


Fuente 39: Autor

A continuación, se estableció la orientación de la vivienda con respecto al sol, se localizó geográficamente y se estableció un consumo de 49 horas/ semana de sistemas de HVAC

correspondiente al promedio correspondiente a las horas de desconfort térmico a la semana en las atmósferas, con el fin de generar un modelo energético que permita conocer el consumo en kilowatts por metro cuadrado al año con la tecnología actual.

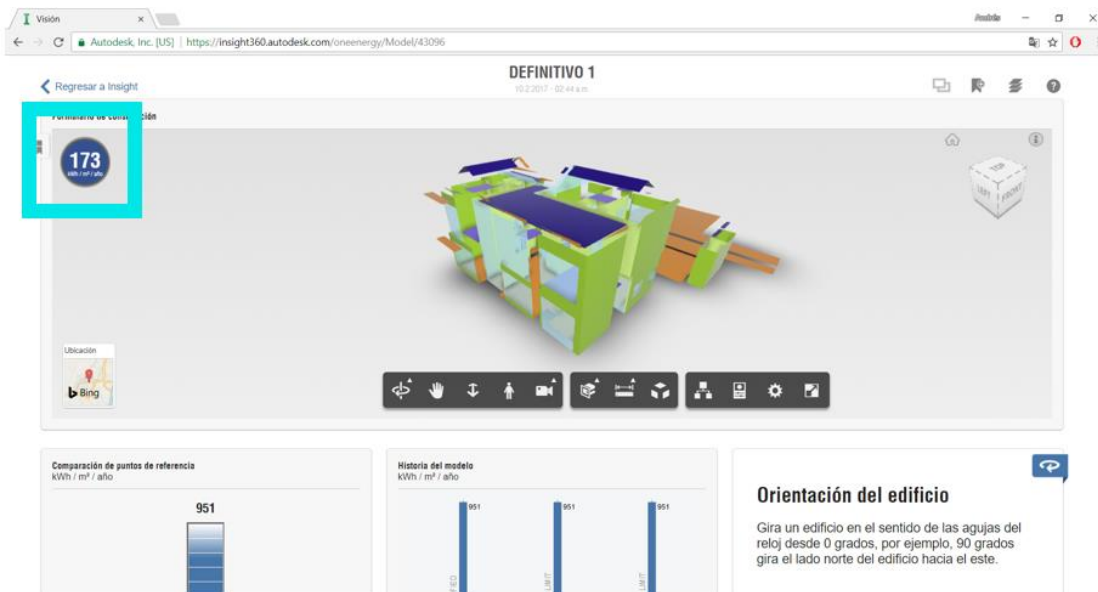
*Ilustración 40: Orientación del modelo 3D con respecto al Norte*



*Fuente 40: Autor*

Por último, el modelo fue exportado al software Insight el cual determinó que con la tecnología actual el consumo energético era de 173 Kwh/M2/Año.

*Ilustración 41: Modelo energético en software Insight*



*Fuente 41: Autor*

Una vez obtenidos los datos de consumo se procede a calcular el costo mensual de energía con un sistema de HVAC funcionando en la vivienda en las horas habitables. El costo de un KWh en Chía, Cundinamarca es de \$453 pesos colombianos.

En la siguiente ecuación se determina el consumo en KWh/m<sup>2</sup> al mes

$$\frac{\left(173 \frac{KWh}{año}\right) * 208m^2}{12meses} = 2999 \frac{KWh}{mes} / m^2$$

Una vez obtenido el consumo de energía al mes se procede a calcular su costo de la siguiente manera.

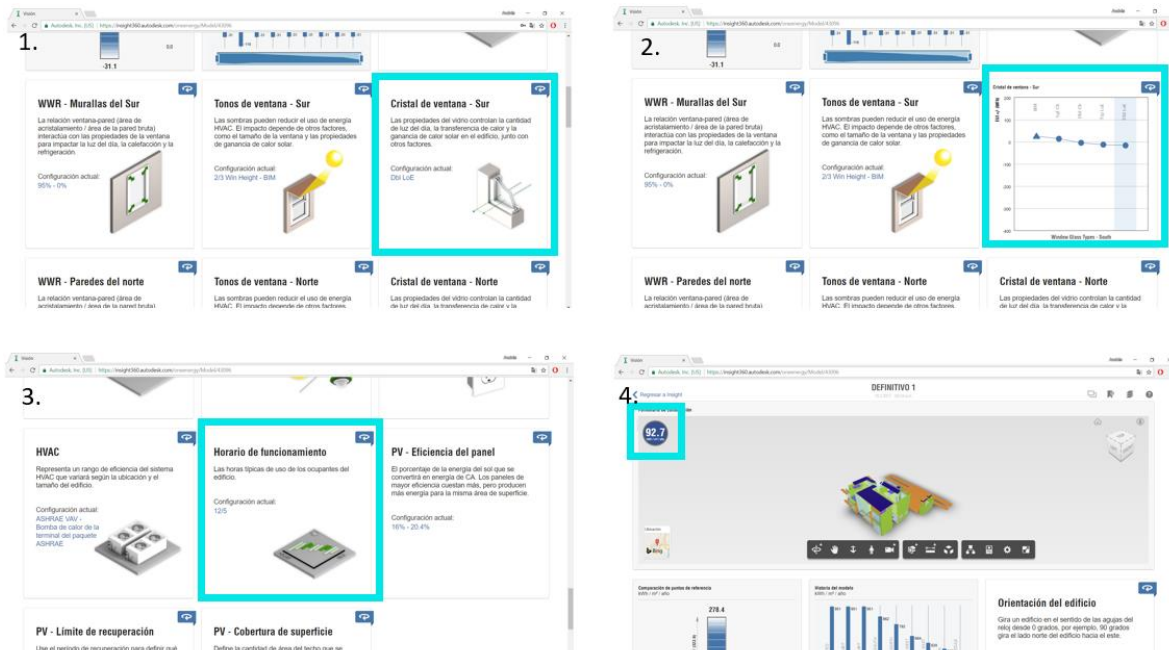
$$\left(\frac{2999KWh}{\frac{mes}{m^2}}\right) * \$453 = \$1'358,547$$

El costo de energía de una vivienda con un sistema de HVAC sería de **\$1,358,547**

#### 4.6. Simulación Energética Consumo Kwh/M2/Año Y Costo Anual De Energía Al Año Con La tecnología

La interfaz del software Insight permite cambiar de ventana tradicional a ventana con doble acristalamiento en el modelo energético como se muestra en la imagen 1 y 2 de la ilustración 42 así como también permite reducir el uso de sistema de HVAC que en este caso es de dos horas a la semana como se denota en la imagen número 3, correspondientes a la hora en la atmósfera 2 en la que no llega a temperatura de confort.

*Ilustración 42: Interfaz de navegación bioclimática del software Insight*



Fuente 42: Autor



Una vez modificados estos valores el software realiza un nuevo cálculo de consumo energético el cual corresponde a 92.7 KWh/m<sup>2</sup>/ año como se puede afirmar en la imagen 4.

En la siguiente ecuación se calcula el consumo energético después de aplicada la tecnología de UVA y se puede evidenciar una disminución del 46.25%

$$\frac{\left(\frac{93KWh}{año}\right) * 208m^2}{12meses} = \frac{1612KWh}{mes m^2}$$

Que equivale a una reducción de \$628,311 mensuales.

$$\left(\frac{1612KWh}{mes m^2}\right) * \$453 = \$730,236$$

#### 4.7. Costos y Amortización

##### 4.7.1. Costo implementación de la tecnología al caso de estudio

El costo de un sistema de UVA nativo de batiente tiene un costo de aproximadamente \$380,000 pesos colombianos, una lata grande de espuma de poliuretano de 500 ml que cuesta \$24,000 COP (rendimiento desconocido), la impresión 3D de cada acople es de aproximadamente \$5,000 COP es decir \$20,000 COP teniendo en cuenta que son 4 esquinas.

Con estos valores se determina que aproximadamente el m<sup>2</sup> de una UVA nativa con la propuesta de mejoramiento técnico sería de aproximadamente \$425.000 COP

*Ilustración 43: Costos metro cuadrado de una UVA*



*Fuente 43: Autor*

Se calculó el número de vanos de esta vivienda siendo estos 24 ventanas con un área de 72,76 m<sup>2</sup>, teniendo en cuenta que el valor aproximado por metro cuadrado es de \$425,000, se determinó que el costo aproximado de implementación de la tecnología para esta vivienda sería de \$30.923.000 COP como se expresa en la siguiente ecuación

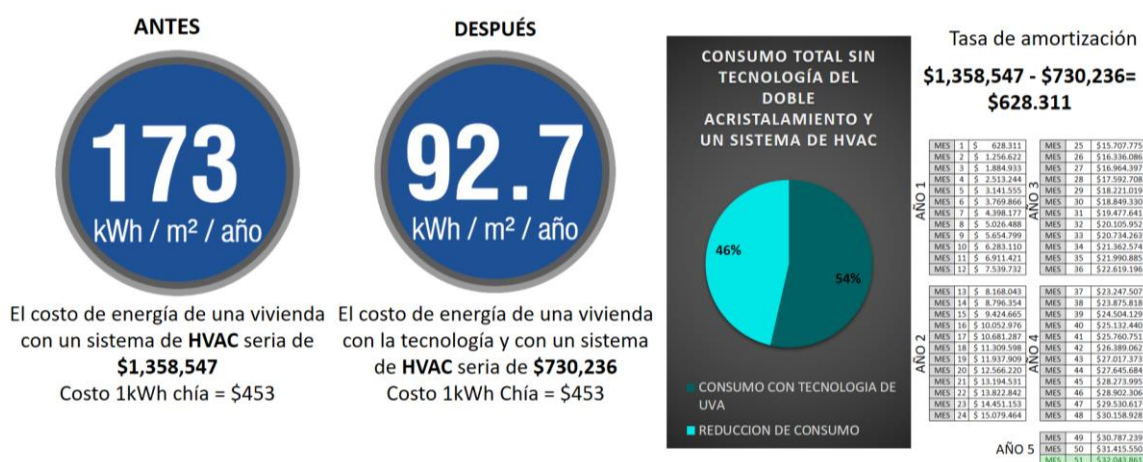
$$72.76m^2 * 425,000 = \$30.923.000 COP$$

#### 4.7.2. Amortización

Haciendo la comparación tanto de costos como de consumo energético antes y después de la implementación de la tecnología de UVA se realizó un periodo de amortización después de implementar la misma. Esto permite afirmar que en un periodo de cuatro años y tres meses se recupera la inversión monetaria de la implementación de las UVA en este tipo de vivienda a causa del ahorro de consumo energético de sistemas de HVAC.

Teniendo en cuenta que la vida mínima para un inmueble de este tipo es de 75 años, el ahorro mínimo sería de \$533.436.039 en un periodo de 71 años y 9 meses

Ilustración 44: Comparación antes y después consumo energético y monetario además de tasa de amortización de la inversión vs tiempo



Fuente 44: Autor

## 5. CONCLUSIONES

- Según los resultados dados por herramientas digitales de análisis bioclimático, antes y después de implementar la tecnología propuesta, se llegaría a punto de confort térmico en el 98% del tiempo habitable de la vivienda de caso de estudio.
- Con las mejoras propuestas a la tecnología nativa existente, se determina una eficiencia funcional del 100%
- Con la aplicación de la tecnología teniendo en cuenta el uso de un sistema de HVAC se reduce el consumo energético de la vivienda en el 46%
- Con la instalación de la tecnología el periodo de amortización de la inversión sería de 4 años y 3 meses sin tener en cuenta la inflación.
- Las UVA (unidades de vidrio aislante) actúan como un regulador de temperatura ya sea que la temperatura exterior sea baja o alta.
- Debido que estos estudios térmicos y energéticos fueron realizados bajo la ayuda de software digital los resultados anterior mente mostrados podrían variar en la aplicación real al caso de estudio.

- Los costos de aplicación fueron tomados en base a la cotización de una UVA de un metro cuadrado de batiente o corredera, el costo para las ventanas fijas es menor.

## **Bibliografía**

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (2017). *ASHRAE STANDARD: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: ANSI.
- ASHRAE. (2005). *Ventilation and Infiltration chapter, Fundamentals volume of the ASHRAE Handbook*. Atlanta: ANSI.
- European Aluminum Association. (2016). *La Sostenibilidad del Aluminio en la Edificación*. Bruselas: EAA.
- Fundación Repsol. (2015). *Eficiencia energética e intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero en España*. Barcelona: Fundación REPSOL.
- Heidegger , M. (1994). *Construir, habitar, pensar*. SERBAL.
- Instituto para la diversificación y ahorro de la energía. (2008). *Soluciones de Acristalamiento y Cerramiento Acristalado*. Madrid: Instituto para la diversificación y ahorro de la energía.
- Lide, D. R. (2009). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. CRC Press Inc, 2804.
- RAE. (2018). *Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española*. Madrid: RAE.
- VEKA. (2015). *Durabilidad de las ventanas de PVC Veka*. España: Veka.